

# 직지사 대웅전 포벽화 보존방안을 위한 과학적 조사

이화수 | 김설희\* | 한경순\*\*,†

충북대학교 목재·종이과학과, \*충북대학교 문화재보존기술지원센터, \*\*건국대학교 회화보존연구소



## Scientific Investigation for Conservation Methodology of Bracket Mural Paintings of Daeungjeon Hall in Jikjisa Temple

Hwa Soo Lee | Seol Hui Kim\* | Kyeong Soon Han\*\*,†

Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

\*Heritage Science Center, Chungbuk National University, Cheongju, 28116, Korea

\*\*Institute of Conservation of Paintings, Konkuk University, Chungju, 27278, Korea

<sup>†</sup>Corresponding Author: conservation@kku.ac.kr, +82-43-840-3677

**초록** 직지사 대웅전 포벽화에 대한 보존상태 진단 및 재질분석 등 과학적 조사를 통해 벽화 보존방안 마련을 위한 연구를 실시하였다. 포벽화 보존상태 평가 결과, 채색층 열화 및 벽화면 오염 등의 손상이 큰 것으로 나타났으며, 벽체 균열 및 파손 그리고 층간 분리 등 벽체의 구조적 손상이 심화된 것으로 나타났다. 광학적 조사결과 밀그림 또는 덧칠의 흔적 등 채색층에서의 특이점은 확인되지 않았다. 벽화 별 초음파 탐상 속도는 표면 위치에 따라 낮게는 약 195.8 m/s부터 높게는 392.7 m/s까지 측정되어 위치에 따른 표면 물성을 비교할 수 있었으며, 적외선 열화상 촬영에서는 벽체 층간 분리 및 채색층 박리부위가 면밀하게 검출되어 손상에 대한 객관적인 파악이 가능하였다. 재질 분석 결과 벽체는 모래와 풍화토를 사용하여 제작한 것으로 확인되었으며, 벽체층은 모래와 세립사 이하 크기의 토양을 거의 5:5로 혼합하였고, 마감층은 중립사와 세립사를 약 6:4 비율로 혼합한 것으로 나타났다. 그러나 마감층의 경우 극세립사 이하 크기의 혼합비율이 벽체층에 비해 현저히 적은 것으로 나타났다. 직지사 대웅전 포벽화는 토벽체가 갖는 구조 특성과 함께 벽체층간 밀도 차이로 인해 벽체 파손과 층간 분리현상이 발생한 것으로 판단된다.

**중심어:** 포벽화, 손상, 진단, 보존방안

**ABSTRACT** This report does studied for making the method of conserving bracket murals in Daeungjeon of Jikjisa Temple, through the scientific way. Results of evaluated the conservation status at the bracket mural paintings, most serious damage is structural damage like cracks, breakage, and delamination. After optical investigation, a characteristic point wasn't found such as underdrawing or traces of a coat of paint. The ultrasonic examination speed by each wall painting was measured from about 195.8 m/s to 392.7 m/s, according to the location of the surface, and it was able to compare the surface properties according to the location. In Infrared-thermal image measurement shows that wall layer separation and paint layer delamination are closely detected, therefore it was able to judge of damage on the objective way. Material analysis revealed that the walls were made by sand and weathering soil. The wall layer combined sand with less than fine sand size by nearly 5:5, and the finishing layer was found to have mixed medium sand and fine sand at approximately 6:4 rates. However, In case of finishing layer, mixing ratios of sizes less than very fine sand were found to be significantly lower than wall.

Therefore, it is estimated that the physical damage such as the separation between the layers of the walls created in the bracket mural paintings, is continuously caused by changes in the internal stresses and volume ratio caused by the density differences between the wall and the finishing layers.

Key Words: Bracket mural paintings, Damage, Diagnosis, Conservation methodology

## 1. 서 론

우리나라의 사찰벽화는 대부분 토벽(土壁)에 그려져 있으며, 흙이 지닌 연질의 특성으로 인해 보존성이 취약한 유물에 속한다. 특히 사찰이 위치한 환경적 요소와 벽화가 지나고 있는 재료적 한계성, 그리고 건축물과의 귀속관계로 인한 물리적 파손 등으로 인해 오랜 세월을 유지함에 있어 지속적인 문제점이 발생한다(Lee, 2012).

사찰벽화의 손상은 여러 요인들로 인하여 다양한 형태로 나타나며, 그 손상들은 개별적 또는 상호 복합적인 유기적 관계 속에서 산지가람의 환경적 요인이 주된 요인이 되어 장기간 지속적으로 발생된다. 따라서 벽화에 발생된 변형에 대한 기록과 관찰 또한 지속적이며 주기적으로 이루어져야 한다. 이를 통하여 손상원인과 영향의 연결고리를 규명할 수 있으며 그 원인들을 제거하거나 장기적인 보호 차원에서 위해 요소들을 줄이기 위한 조치가 가능할 것이다(Han, 2003).

사찰벽화의 올바른 보존을 위해서는 손상 상태 파악과 함께 그에 따른 원인이 규명되어야 하며, 이를 위해서는 벽화 구성 재료에 대한 연구도 함께 이루어져야 한다. 벽화에 대한 과학적 진단 및 분석은 손상 특징에 따른 메커니즘과 작품을 구성하는 재질특성을 밝힐 수 있으며, 이를 기반으로 보다 신뢰성 있고 효과적인 보존방안들이 제시될 수 있다.

국내 사찰벽화 보존관련 연구는 1985년부터 시작되었으나 2000년대 초반까지는 저조하였으며, 2000년대 이후부터 여러 연구성과들이 발표되기 시작한다. 1990년대 당시는 주로 실질적인 보존처리에 치중하였던 시기로서, 보존처리를 위한 과학적 조사가 병행되는 연구사례가 미비하였고, 보존처리를 진행하면서 관련 연구의 필요성이 제기되는 과도기적 단계였다. 2000년대에 들어서면서 사찰벽화의 손상요인과 보존방안 등 이론적 연구와 함께 보존처리에 적용할 수 있는 연구가 이루어졌으며, 보존처리 사전조사 단계의 조사 및 진단과 과거에 처리된 보강물질에 대한 연구 성과들이 발표되었다(Lee, 2013).

2010년에는 사찰 전각 외부 벽화를 대상으로 전반적인

손상도를 평가하고 손상유형과 원인을 거시적 관점에서 조사한 연구가 이루어졌으며, 연구결과는 향후 해당벽화의 보존처리 정보로 활용되었다(Han, 2010). 2011년에는 마곡사 대광보전 벽화 주변 환경과 손상현황 등을 조사하여 보존처리의 필요성을 제기하는 연구가 이루어졌다(Lee, 2011). 또한 무위사 극락전 내벽사면벽화 보존처리, 완주 위봉사 보광명전 벽화 보존처리, 김제 금산사 미륵전 벽화 보존처리 등 2000년도 이후부터는 손상된 벽화 상태 조사와 함께 안전진단 및 재질분석 등 과학적 분석조사를 병행한 보존처리의 종합적 연구가 이루어지기 시작한다.

직지사 대웅전 내부 벽화는 후대에 그려진 몇 점을 제외하고는 대웅전 마지막 중창 시기인 18세기경에 제작된 것으로 추정되는 작품들이다. 전각 내부에는 후불벽화를 포함하여 좌우측벽화와 사면의 포벽화 그리고 내목도리상부 벽화까지 건물 내벽의 벽화가 대부분 보존되어 있다. 이와 같이 하나의 전각 내부에 가구재 위치별로 벽화가 온전하게 남아있는 경우는 양산 신흥사 대광전 벽화와 위봉사 보광명전 벽화 등 국내에서 몇 되지 않는 경우에 속한다. 또한 여타 사찰벽화와는 다르게 과거 해체 등의 보수나 보존처리 된 이력이 없어 조선시대에 제작된 전통재료와 기법이 그대로 보존되어 있다. 이와 같이 직지사 대웅전 벽화는 미술사적 양식과 보존 상태로 미루어 역사적·학술적 가치가 상당히 높다고 볼 수 있으며, 보존처리를 위한 접근 또

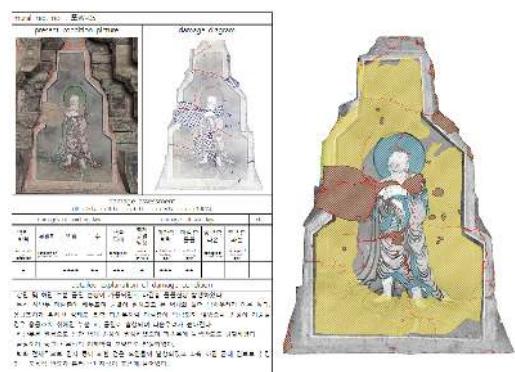


Figure 1. Mural damage status sheet.

한 상당히 중요한 시점에 있다.

이에 본 연구에서는 2017년 실시된 직지사 대웅전 벽화 보존처리를 위한 과학적 조사 과정의 일환으로 포벽화 상태조사 및 진단 연구 결과를 제시하여 향후 벽화 보존방안에 있어 효과적인 정보를 제공하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 벽화 현황 조사

현황조사는 먼저, 대웅전 내부 벽화의 위치 및 수량 등을 분류하고 정리하여 목록화 하였다. 또한 중형 디지털팩(Phase ONE, 645DF, Denmark)을 사용하여 조사대상 벽화에 대한 고해상도 촬영을 실시하였으며, 디지털카메라와 함께 연색성을 고려한 LED조명을 사용하여 벽화 손상 및 특징 등 세부 현황을 정밀촬영 하였다.

### 2.2. 벽화 보존상태 조사

직지사 대웅전 내부 포벽화에 대한 손상유형과 정도를 파악하고자 현장에서 육안조사를 바탕으로 보존상태 정밀조사를 실시하였다. 먼저, 체크리스트를 작성하여 손상 현황에 대한 자세하게 기록과 함께 실측 및 손상도면을 작성하였다(Figure 1). 전반적인 손상현황을 파악 후 두드러지게 나타나는 손상과 함께 벽화 위치나 조건별 등 특징적으로 나타나는 손상을 포함하여 유형을 분류하고 정리하였다. 손상은 크게 채색층 손상과 벽체 손상으로 구분하였으며, 채색층 손상은 다시 채색층 박리·박락, 오염, 누수, 분말화로 세분하고, 벽체층은 마감층 박리, 마감층 박락, 벽체파손, 균열, 박락, 유실 등의 유형으로 세분하였다. 각 손상 유형의 손상도 평가는 매우 심함(very severe, +++++), 심함(severe, ++++), 보통(normal, +++), 약함(weak, ++), 매우 약함(very weak, +)의 다섯 가지 레벨로 나누어 작성하였다(Table 3). 각 방위별로 전체적인 손상을 비교한 후, 각 벽화의 범례별 손상을 고려한 후 합산하여 평가하였다.

### 2.3. 표면 물성 진단

#### 2.3.1. 적외선 열화상 촬영

적외선 열화상 분석은 물체 표면에서 방출되는 적외선을 검출하여 온도분포에 따라 다른 색상으로 나타낸다. 직지사 대웅전 내부 포벽화 표면 물성진단을 위해 고해상도 적외선 열화상촬영기(testo 882, Testo, Germany)를 사용하

였으며, 연동 소프트웨어를 사용하였다. 적외선 열화상 촬영의 방법은 외부 가열이나 냉각 없이 자연적으로 표면에 발생하는 온도차 혹은 물체와 주변 환경 사이의 온도분포를 이용한 수동적 방법(pассив)과 함께 조사 대상에 직접 램프, 히터, 열풍장치 등으로 인위적인 열 유동을 발생시켜 측정대상물의 균열과 내부결합을 검출하는 능동적 방법(актив) 두 가지로 분류된다. 금번 조사에서는 직지사 대웅전 벽화의 주변 환경이 외부와 차단된 실내인 점을 감안하여 할로겐 램프(Halogen Lamp)를 조사하여 열을 가하는 능동적 방법으로 하였다.

#### 2.3.2. 초음파 탐상

초음파 속도를 사용하는 안정성 평가는 콘크리트 구조물에 주로 한정되어 왔으며, 최근 이러한 접근방법을 문화재에 적용하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 2000년도에 들어서면서 초음파 탐사를 석조 문화재에 본격적으로 적용하고 있으며(Lee, 2004), 강진 무위사 극락전내벽사면벽화를 시작으로(Chae et al., 2006) 사찰벽화 밀도, 균질성, 균열들뜸 등 표면 물성 진단에 적극적으로 사용되고 있다.

이번 조사에 쓰인 진단장비는 초음파 측정기(Ultradcon-170, MKC Korea, Korea) 및 침봉형 탐촉자를 사용하였으며, 측정법으로는 벽화 구조상 직접법(direct method), 반직접법(semidirect method)을 이용한 초음파 탐상이 불가능 하므로 간접법(indirect method)으로 측정을 실시하였다. 파형은 P파(종파), 전압 1200 V, 주파수 5 Hz로 측정조건을 설정하였으며, 측정값은 초음파의 전달 속도(velocity, m/sec)을 지표로 하였다. 탐촉자 간의 거리는 100 mm의 간격을 유지하여 측정 하였다. 이를 바탕으로 대웅전 내부 포벽화의 벽화 표면물성을 측정하였으며, 측정 지점별로 나타나는 초음파속도를 토대로 상대적인 물성 분포도를 작성하였다.

### 2.4. 벽체 재질분석

재질특성 분석연구는 벽체를 구성하는 재료에 대해 화학성분 및 광물결정상 그리고 입도분포 등의 분석을 실시하였으며, 분석 대상은 벽화에서 박락된 일부시료를 사용하였다(Table 1). 채취된 시편에 대해 우선적으로 광학현미경(Optical Microscope, Axiotech 100HD, Carl Zeiss, Germany)을 사용한 기초조사를 실시하였으며, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, JSM-5910LV, Jeol, Japan/S-2300, Hitachi, Japan)을 사용한 미세조직분석과 주사전자현미경에 부착된 에너지분산형 형광엑스선분석기(Energy Dispersive X-ray

**Table 1.** Precision analysis items and analysis equipment

classification		analysis equipment		analysis object
properties analysis of mortar	microanalysis	Optical Microscope	Axiotech 100HD, Carl Zeiss Germany	
		SEM	S-2300, Hitachi, Japan	
	crystal phase	XRD	Micro-XRDX, EMPYREAN, PANalytical, Netherlands	west side wall support layer and finishing layer
	chemical component	EDX	Sigma MS2, KEVEX-superdry, USA	
particle size analysis		sieve analysis(wet method) standard of USDA, ISSS		

**Table 2.** Status of mural inside Daeungjeon Hall of Jikjisa Temple

	east wall	west wall	south wall	north wall	add up
side mural	-	3	-	2	5
bracket mural	9	9	15	4	18
mural on upper inside purlin	5	5	11	2	10
mural on behind the buddha			3		3
total			68		

Spectrometer, Oxford 7324, Oxford Inc, England/Sigma MS2, KEVEX-superdry, USA)를 사용하여 화학성분 분석을 실시하였다. 또한 미소부 엑스선회절분석기(X-ray Diffraction, Empyrean, PANalytical, Netherlands/ D/MAX-2500/PC, Rigaku, Japan)를 사용한 광물결정상 분석을 실시하였다.

벽체 시료의 입도분석은 건조된 시료를 적당량의 종류 수에 분산시킨 후 채에 거르는 습식 체가름 분석으로 실시하였으며, 채를 통과시켜 잔류된 토양의 무게를 측정하여 누적백분율로 나타냈다. 입자 크기 분류는 미농무부(USDA) 및 국제토양학회(ISSS)기준에 따랐다.

### 3. 진단 및 분석 결과

#### 3.1. 벽화 현황

직지사 대웅전의 내부에는 후불벽과 측벽 그리고 포벽 및 내목도리 윗벽에 총 68점의 벽화가 제작되어 있는 것으로 조사되었다(Table 2, Figure 2). 법당 내부의 후불벽 배면에는 대형의 후불벽화가 그려져 있으며, 관음보살도를 중심으로 좌우에 용왕과 선재동자도를 그려 한 개의 후불벽 채에 3점의 작품이 제작되어 있다. 서벽과 북벽에는 측벽화가 있고, 서벽은 1칸에 1점씩 총 3점으로 좌측부터 기상 보현동자도, 기룡관음도, 동자기룡도가 그려져 있다. 북벽에는 1칸에 1점씩 주악동자도 2점이 있다. 포벽은 건물 4면

에 모두 제작되어 있으며, 주로 여래도와 보살도 그리고 나한도를 표현하였으며, 동벽에 1칸에 3점씩 총 3칸에 9점이 그려져 있고, 서벽 역시 9점, 남벽은 15점이 있다. 북벽에 실제 그림이 그려져 있는 포벽화는 북벽 좌우측 각 2점씩 4점이다. 내목도리상벽화는 여래도와 달마도 그리고 보살 및 나한도가 그려져 있으며, 동벽 5점, 서벽 5점, 남벽 11점, 북벽 2점이 있다.

#### 3.2. 벽화 보존상태

##### 3.2.1. 채색층 손상

포벽화의 채색은 대부분 잘 남아있는 편이지만, 전반적으로 채색층의 안료가 입상분해되는 분말상의 손상이 나타나고 있다. 이러한 손상은 채색층이 얇게 조성된 바탕칠층에서 주로 나타나고 있으며, 채색이 잘 남아있는 부위에서도 분말상의 손상이 진행되는 것으로 조사되었다.

분말상 유형 다음으로 나타나는 손상은 채색층 박리·박락 손상이다. 이는 주로 채색이 두꺼운 층으로 조성된 부위에서 발생되었으며, 채색층이 단일층으로 얇게 벗겨지는 박리유형 또는 채색층이 바탕칠층 또는 마감층과 함께 두껍게 박리되었거나 박락되어 유실되는 손상들이다.

그 외 오염과 얼룩으로 인한 손상도 확인되었다. 먼지 침적으로 인한 오염은 벽화 벽화면의 전면에 발생되어 있으며, 심화된 부분은 도상을 파악하기 어려울 정도로 먼지 층이 형성된 부분들도 확인되었다. 얼룩의 경우 주로 검은

색의 원형 또는 반점 등 불규칙한 형태로 벽화 표면에 나타나며 균열부위에 집중되는 경향을 보인다.

### 3.2.2. 벽체층 손상

벽체층 손상 유형은 크게 균열, 파손, 분리, 유실 등으로 구분된다. 가장 두드러지게 나타나는 손상은 벽체의 균열이며, 벽체 내부까지 심화된 균열부터 마감층 두께의 얇은 미세균열 등 다양한 양상의 균열들이 확인되었다. 일부 벽화는 심화균열이 크게 발달되어 임계점에 달한 것으로 보이는 경우도 있으며, 미세 균열은 현재 진행 중인 것으로 판단되는 부분들도 확인되었다.

다음으로, 포벽화의 상당부분에서 벽화면(마감층)의 분리 현상이 확인되었다. 분리현상이 심한 벽화는 벽화면 상당부분이 벽체로부터 분리되어 붕괴될 위험에 있는 경우도 있으며, 이러한 현상으로 인해 서측 4번 포벽화의 경우에는 그림이 그려진 벽화면 대부분이 유실되었다. 또한 서측 6번, 7번 포벽화 등 벽화면 분리현상이 심화된 상태들이 확인되었으며, 이 벽화들은 벽체 균열과 함께 벽화면의 박락 및 유실 등 심각한 손상으로 이어질 수 있는 상태를 보이고 있다(Figure 3).

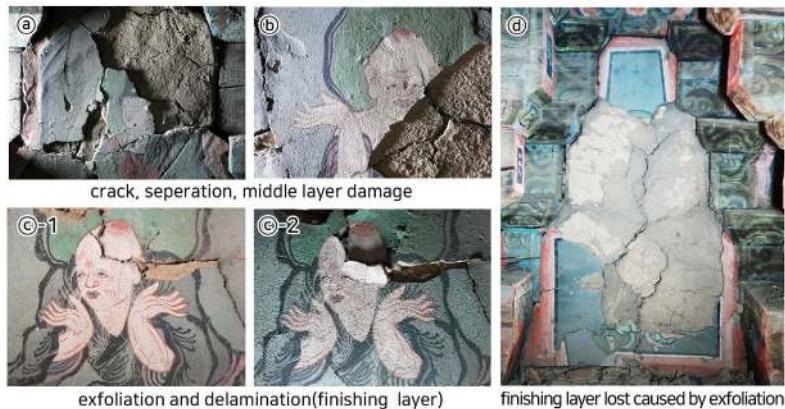
### 3.2.3. 손상 종합

포벽화에서 발생된 채색층 및 벽체 손상을 종합한 결과, 우선적으로 채색층의 분말화 현상이 벽화 전면적으로 발생되어 손상유형 중 가장 빈도가 높은 것으로 나타났다. 두 번째로는 먼지 집적으로 인한 벽화면 오염으로서, 이 또한 채색층 손상 영역으로 볼 수 있다. 세 번째는 벽체의 균열현상이며, 네 번째는 들뜸과 균열 등 복합적인 손상으로 인한 벽체의 파손현상이다. 세 번째와 네 번째 손상유형은 상대적으로는 적은 면적이지만 벽체 구조 상태에 있어 매우 취약하고 심화된 손상인 것으로 조사되었다. 다섯 번째는 벽체 균열 및 파손으로 인한 벽화면의 유실이며, 마지막 항목은 벽화 손상에서 가장 중요하게 작용하는 채색층의 박리·박락인 것으로 나타났다.

손상정도를 수치화하여 각각의 손상도를 합산한 결과 남측 벽화의 손상빈도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 북측, 서측, 동측의 순으로 집계되었다. 그러나 상대적인 수치로 볼 때 순위별로 차이는 크지 않았으며, 최대와 최소인 남측과 동측의 빈도 역시 10미만인 것으로 조사되어 건물 방위에 따른 영향은 크지 않은 것으로 확인되었다(Figure 4, 5, 6, 7).



Figure 2. Status of bracket murals inside Daeungjeon Hall of Jikiisa Temple.



**Figure 3.** Types of damages. (a, b): crack, separation, middle layer damage, (c): exfoliation and delamination(finishing layer), (d): finishing layer lost caused by exfoliation.

**Table 3.** Damage level table for the bracket murals in Daeungjeon of Jikjisa Temple [very severe(+++++), severe(++++), normal(+++)�, weak(++)�, very weak(+)]

	exfoliation (finishing layer)	delamination (finishing layer)	separation (painting layer)	crack	contamination	water leak	biological damage	middle layer damage	support layer damage	repaired part	pulverized pigments
B-E-02	+	+	+	++	+++++	+	+	-	-	-	-
B-E-03	++	++	+	++	-	+	++	-	-	-	-
B-E-04	+	+	++	+	+++++	++	++	-	-	-	-
B-E-05	+	-	++++	++++	+++++	++++	++	-	-	-	-
B-E-06	+	+	+	++	+++	+	+	+	+	-	-
B-E-07	+		+	++	+++++	+++	+	-	-	-	-
B-E-08	++	+	+	+++	+++++	++++	+++	-	-	-	-
B-S-02	+++	++	+	++	+++++	+++++	+	+	+	-	-
B-S-03	+	+	++	++	+++++	++	++	-	-	-	-
B-S-04	-	+		+	+++++	+++	+	-	-	-	-
B-S-05	++	+	+	++	+++++	++++	++	-	-	-	-
B-S-06	+++	+	+	++	+++++	+++	++	-	-	+++	-
B-S-07	+	+++	+++	+++	+++++	++++	+++	-	-	-	-
B-S-09	+++	+++++	+	+++++	+++++	+++	++	-	-	-	-
B-S-10	+	+	++	+	+++++	+++	+	-	-	-	-
B-S-11	+++	+++	+	++++	++++	++	++	-	-	-	-
B-S-12	++	+	+	++++		+++	+	-	-	-	-
B-S-13	+	+	++	++	+++++	+++++	+++	-	-	-	-
B-S-14	++		+	+++	+++++	++++	+++	+	+	-	-
B-W-02	+	++	++	+++	++++	+++	+	-	-	-	-
B-W-03	++	+	++	++	+++	+	++	+	+	-	-
B-W-04	+++++	++++	++	++++	+++++	+	+++	-	-	-	-
B-W-05	+++	++	+	+	++++	++	+++	-	-	-	-
B-W-06	+++	++	+	++	++	+	+	-	-	-	-
B-W-07	+++	++	+	+++	+++	++	++	+	-	-	-
B-W-08	+++	+++	++	++	+++++	++++	+++	-	-	-	-
B-N-01	+	+++++	+	+	+++++	+	+	-	-	-	-
B-N-02	+	++++	+	+	+++++	+	+	-	-	-	-
B-N-10	++	++	++	+++++	++	++	++	-	-	-	+
B-N-11	+++	++	++	+++++	+++	+	+	-	-	-	+

### 3.3. 표면 물성 진단

#### 3.3.1. 적외선 열화상 촬영 결과

금번 적외선 열화상 촬영을 통해 벽화 채색층 및 벽체층의 박리·박락, 들뜸 및 파손 등 육안으로 확인하기 어려운 주요 손상유형과 정도를 면밀하게 파악할 수 있었다(Figure 8). 주로 벽체층과 마감층간 들뜸으로 인한 손상부위 확인이 가능하였으며, 채색층이 벽화면으로부터 박리된 상태 및 정도를 알 수 있었다. 또한 채색 안료 종류에 따른 열 방사율 및 흡수율에 의한 온도분포 차이도 나타났다(Figure 9).

#### 3.3.2. 초음파 탐상 결과

포벽화의 경우 그림의 면적이 상대적으로 좁기 때문에

측정의 용이성과 객관성 있는 데이터 도출을 위하여 파장 및 탐촉자 간 거리 보정을 통하여 다량의 측정지점을 확보하였다. 초음파 탐상 결과 속도 값을 통해 벽화별 상대적인 물성을 파악할 수 있었으며, 벽화별 평균속도는 낮게는 약 195.8 m/s 내외부터 높게는 392.7 m/s까지 측정되었다 (Table 5). 전반적인 물성을 파악 후 열화상 결과와 비교한 결과, 벽체의 들뜸현상이 심화된 벽화에서는 물성이 크게 떨어지는 것으로 확인되었다(Figure 10, Table 4) 그러나 후대에 그려진 것으로 추정되는 벽화들은 들뜸현상이 크게 발생되었음에도 불구하고 물성이 높게 측정되었는데, 이는 마감층 제작에 석회가 사용되어 토양 마감층에 비해 물성이 높게 측정된 것으로 보인다.

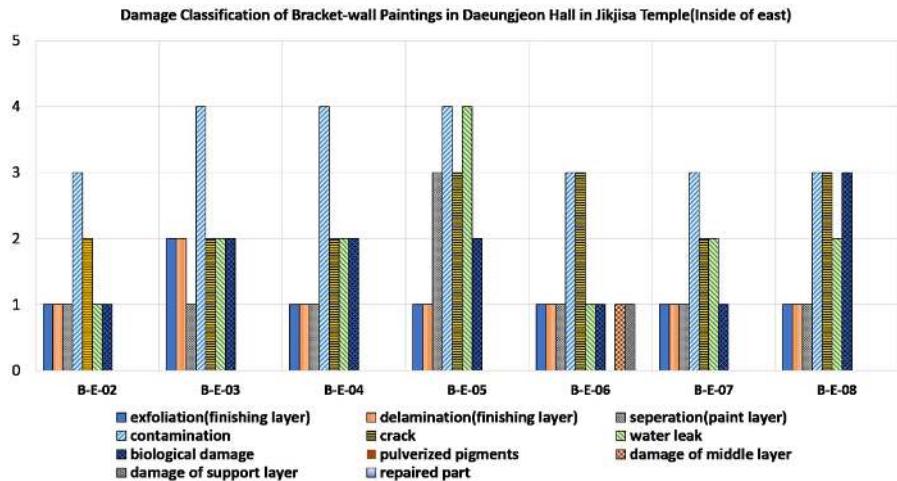


Figure 4. Damage classification of bracket murals in Daeungjeon Hall in Jikjisa Temple(inside of east).

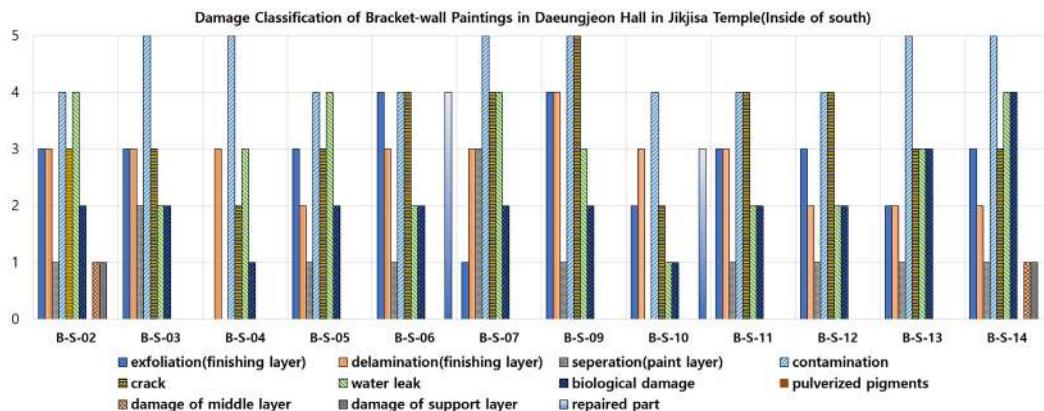


Figure 5. Damage classification of bracket murals in Daeungjeon Hall in Jikjisa Temple(inside of south).

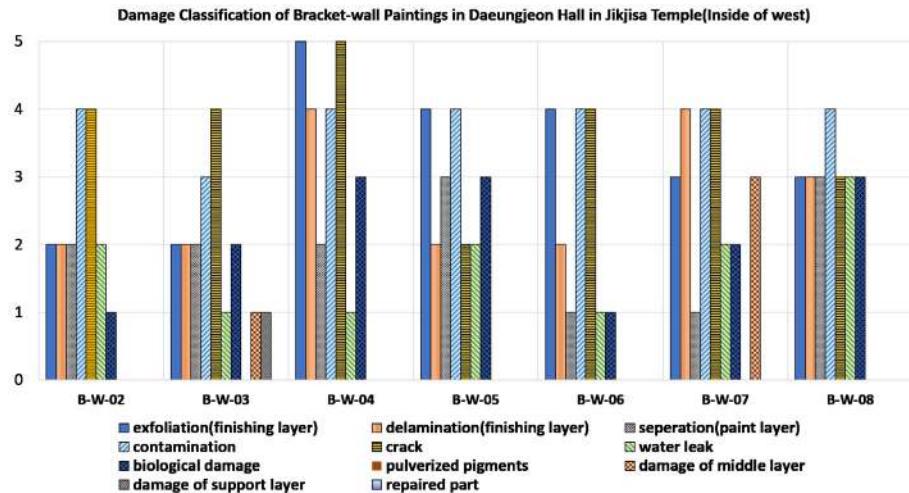


Figure 6. Damage classification of bracket murals in Daeungjeon Hall in Jikjisa Temple (inside of west).

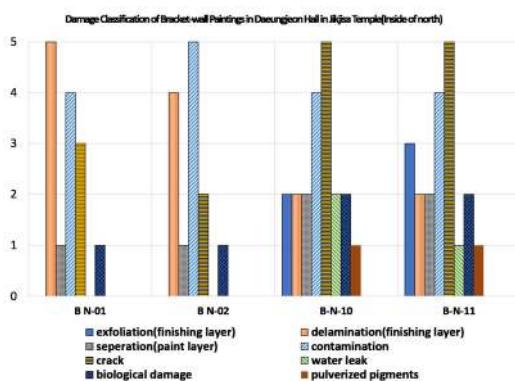


Figure 7. Damage classification of bracket murals in Daeungjeon of Jikjisa Temple (inside of north).

### 3.4. 벽체 재질분석

#### 3.4.1. 현미경 조사 결과

각 층위별 시료에 대해 실체현미경을 사용하여 표면관찰을 실시한 결과, 벽체층에서는 균일한 크기의 토양입자들의 응집체와 함께 짚여물로 추정되는 섬유질이 관찰되었으며, 마감층은 벽체층에 비해 크기가 다양한 토양의 혼합으로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있었다(Figure 11). 또한, 섬유질로 추정되는 물질들이 관찰되는 것으로 보아 마감층 제작에도 섬유질을 혼합한 것으로 추정된다.

#### 3.4.2. 광물 결정상 분석 결과

결정상 분석결과, 벽체층에서는 Quartz(석영)과 함께

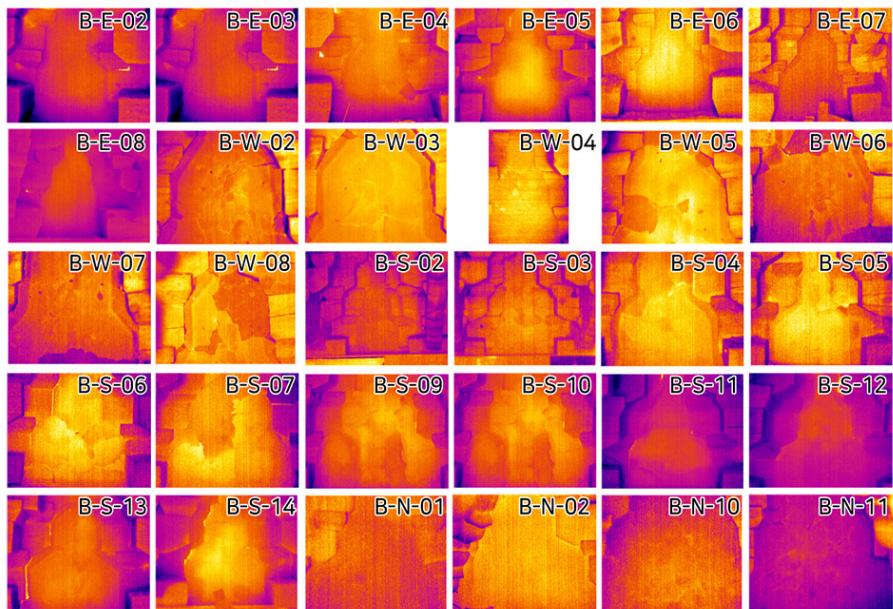
Chlorite(녹나석)과 Mica group(운모군)이 검출되었으며, 마감층에서는 Quartz(석영), Albite(조장석), Mica group(운모군)이 동정되었다(Figure 12, 13). 따라서 벽체층과 마감층에는 석영을 포함한 운모류 계열 광물이 사용된 것으로 추정된다.

#### 3.4.3. 화학성분 및 미세조직 분석

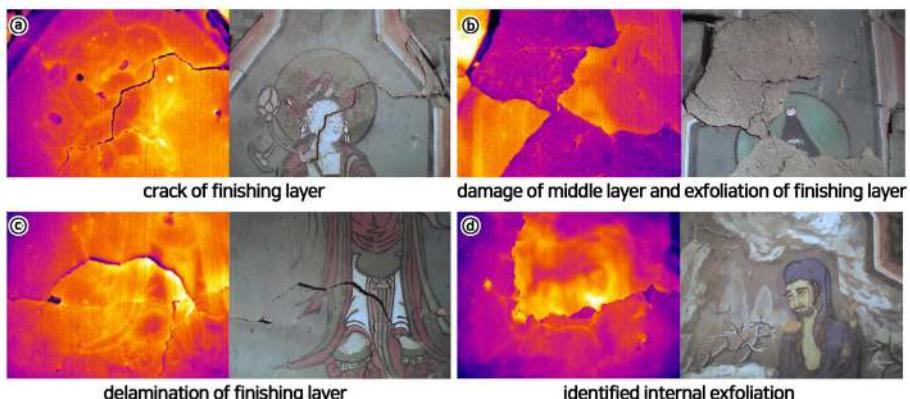
화학성분 분석결과 벽체층에서는 규소(Si), 알루미늄(Al), 철(Fe), 포타슘(K), 마그네슘(Mg), 티타늄(Ti), 나트륨(Na)과황(S)이 검출되었다(Figure 14). 마감층에서는 규소(Si), 알루미늄(Al), 철(Fe), 포타슘(K), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 그리고 티타늄(Ti)이 검출되었다(Figure 15). 벽체층 입자의 미세조직에서는 모래로 추정되는 큰 입자 표면에 점토 광물로 보이는 토양 입자들이 응집체를 이루고 있으며, 마감층 미세조직에서는 점토광물로 보이는 판상형태의 크고 작은 토양 입자들이 응집체를 이루고 있는 형상들이 관찰되었다(Figure 16).

#### 3.4.4. 벽체 층위별 입도분석

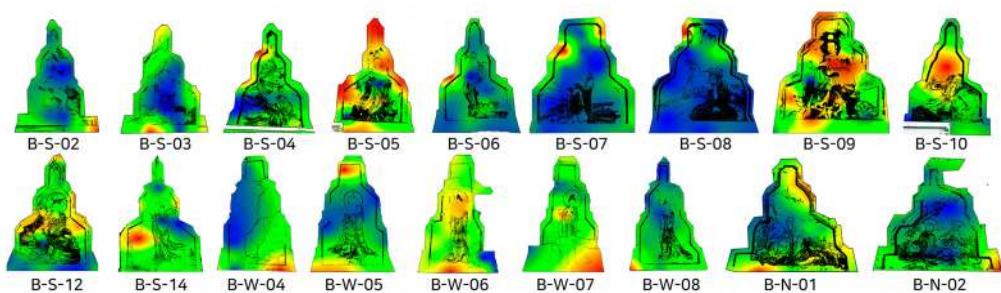
입도분석 결과 벽체층에 사용된 광물입자들의 크기는 극조립사가 약 9.38%, 조립사 약 15%, 중립사 약 30.63%, 세립사 약 20%, 극세립사 약 4.38%, 실트 이하 약 20.63%의 분포를 나타냈다. 마감층에 사용된 광물입자들의 크기는 극조립사가 약 0.95%, 조립사 약 9.52%, 중립사 약 49.52%, 세립사 약 30.95%, 극세립사 약 6.19%, 실트 이하 약 2.86%의 분포를 나타냈다(Table 6).



**Figure 8.** Infrared-thermal images.



**Figure 9.** Types of damages(infrared-thermal image measurement). (a): Crack of finishing layer, (b): Damage of middle layer and exfoliation of finishing layer, (c): Delamination of finishing layer, (d): Identified internal exfoliation.



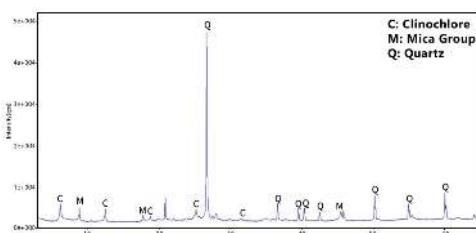
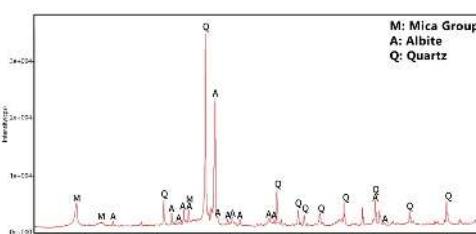
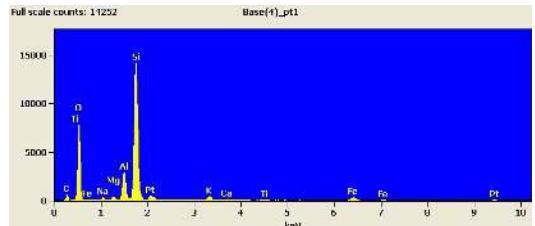
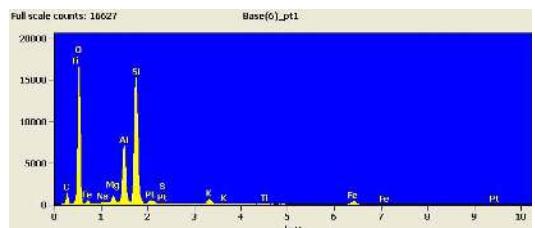
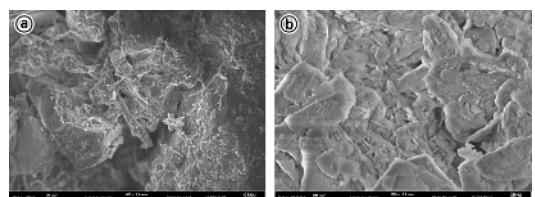
**Figure 10.** Ultrasonic examination results.

**Table 4.** Ultrasonic data of each bracket murals(m/s)

	B-S-02	B-S-03	B-S-04	B-S-05	B-S-06	B-S-07	B-S-08	B-S-09	B-S-10	B-S-11	B-S-12	B-S-13	B-S-14
average	195.8	201.7	253.2	233.5	241.1	289.4	283.2	238.9	304.5	273.1	282.1	291.6	358.5
minimum	82.0	88.0	139.0	125.0	129.0	111.0	142.0	106.0	153.0	193.0	154.0	151.0	209.0
maximum	594.0	415.0	510.0	321.0	810.0	888.0	1053.0	361.0	609.0	445.0	429.0	640.0	673.0
	B-W-02	B-W-03	B-W-04	B-W-05	B-W-06	B-W-07	B-W-08	B-N-01	B-N-02	B-N-10	B-N-11	B-E-02	
average	387.7	292.3	310.5	223.3	221.5	252.8	261.2	392.7	328.3	236.2	339.2	358.6	
minimum	143.0	129.0	-	107.0	109.0	124.0	128.0	96.0	84.0	98.0	105.0	-	
maximum	788.0	627.0	596.0	518.0	495.0	416.0	533.0	1106.0	1242.0	548.0	755.0	888.0	

**Table 5.** Ultrasonic data by direction(m/s)

	south	west	north	east
average	265.1	278.5	324.1	298.6
minimum	147.0	110.6	95.8	107.0
maximum	596.0	567.6	912.8	623.0

**Figure 11.** Microscopic analysis results. (a): finishing layer, (b): support layer.**Figure 12.** XRD analysis result of support layer.**Figure 13.** XRD analysis result of finishing layer.**Figure 14.** Chemical composition results(SEM-EDS) of support layer.**Figure 15.** Chemical composition results(SEM-EDS) of finishing layer.**Figure 16.** Microstructure results(SEM-EDS). (a): support layer, (b): finishing layer.

#### 4. 고찰 및 결론

벽화의 손상상태 및 진단 그리고 재질분석 등을 실시하는 과정에서 직지사 대웅전 포벽화의 구성 및 제작상태를 파악할 수 있었다. 벽의 기본 골격은 외가지를 엮어 마련하였으며, 주로 황토 등 흙반죽에 짚여물을 혼합하여 벽체를

조성하였다. 마감층은 황토와 모래를 혼합하여 얇게 마감하였으며, 뇌록의 바탕칠 후 채색을 한 것으로 확인되었다. 이와 같은 구성과 재료의 사용 등은 조선시대 사찰벽화의 전형적인 제작양식을 따르고 있는 것으로 보인다.

손상상태 조사를 통해 확인된 벽체 균열 및 파손 등은 건물 변위 및 벽화 구조와 밀접한 관계가 있다. 대부분의 심화 균열과 벽체 충간 분리현상은 건물의 거동, 중기 및 외가지의 변형으로 인한 벽체 파손 그리고 가구재 및 벽체 하중으로 인한 영향 등 지속적으로 가해지는 힘에 의한 손상인 것으로 판단된다. 그 외 벽체의 미세균열은 문의 개폐 및 외기의 영향에 의한 진동, 온습도 변화에 의한 벽체의 지속적 변형 등이 요인으로 작용하는 것으로 보인다. 따라서 구조적으로 취약한 부위와 벽화면의 분리현상에 대한 보강조치가 필요하며, 향후 진행될 수 있는 건물의 변위로 인한 물리적 손상에 대처할 수 있는 보존처리 방안이 마련되어야 한다.

채색층에서는 입상분해와 오염으로 인한 손상이 가장 큰 것으로 조사되어 이에 대한 고착처리 및 세척작업이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 안료의 입상분해는 벽화 제작당시 사용된 전색제가 장시간 외기에 노출되며 물리·화학적 작용으로 분해되어 채색층을 구성하는 안료간의 결속력이 약화되는 현상이다. 따라서 이러한 현상이 계속되면 안료는 지속적으로 박락되어 벽화는 점차적으로 퇴색되므로 이에 대한 고착처리가 필요하다. 또한 채색층 표면 먼지의 경우 미관을 훼손시키는 것 이외에는 당장 치명적인 영향을 미치지는 않는다. 그러나 장기적으로 볼 때 먼지가 지나치게 축적될 경우, 수분의 흡착을 용이하게 하면서 채색층의 가수분해 및 생물학적 공격 등 2차적인 손상을 유발시키므로 이에 대한 제거가 필요하다.

포벽화 별 초음파 평균속도는 약 195.8 m/s부터 높게는 392.7 m/s까지 측정되었다. 완주 위봉사 보광명전 후불벽 배면벽화의 초음파 평균속도가 477 m/s, 강진 무위사 극락전의 삼존불화가 528 m/s, 아미타래영도가 586 m/s임을 감안할 때 유사시기 또는 유사조건의 다른 사찰벽화의 초음파 평균속도에 비해 낮게 측정되었다. 그러나 사찰벽화와 같이 복합적인 층위와 다양한 재료로 구성된 조건에서 나타나는 속도 값의 차이는 토벽체 충간의 상이한 밀도, 마감층의 두께나 들뜸, 벽체의 균열, 벽체 내부 목재부 그리고 벽화의 전반적인 보존상태 등 여러 요인이 작용될 수 있다. 따라서 직지사 대웅전 포벽화와 같이 목재를 골격으로 하여 토양으로 벽체가 조성되고 다양한 층위로 구성된 경우, 초음파탐사 속도가 해당 물성을 대표하는 절대 값이 될 수

는 없다. 그러나 하나의 전각에 동일하게 제작된 벽화를 같은 조건으로 측정 할 때에는 각각의 속도 값에 따른 표면 물성 비교 자료로서 활용 될 수 있다.

벽체 미세조직 분석결과, 벽체층 및 마감층은 모래와 점토광물 등의 입자들이 응집체를 형성하고 있는 것으로 나타났으며, 규소(Si)와 알루미늄(Al) 등 일반적인 토양물질에서 확인되는 화학성분이 검출되었다. 광물결정상 분석결과, 주 구성광물로 검출된 Quartz(석영)의 결정상은 모래의 주성분이며, 그 외 Mica group(운모류) 및 Albite(조장석), Chlorite(녹나석) 등은 장석류나 운모계열 광물의 결정상이다. 이와 같은 화학성분 및 광물 결정상은 기존 연구된 사찰벽화 벽체 재질특성 분석결과와 유사한 범위에 속한다 (Lee, 2016).

입도분석 결과, 벽체층은 중립사 이상이 44.3%, 세립사 이하가 45.01%로 모래와 세립사 이하 크기의 토양을 거의 5:5로 혼합하여 제작한 것으로 조사되었다. 마감층은 중립사 이상이 59.99%, 세립사 이하가 40%로 약 6:4로 혼합하여 제작하였으나, 극세립사 이하 크기가 벽체층에 비해 현저히 적은 것으로 나타났다.

분석결과를 종합하면, 벽체층과 마감층에서는 다양한 입자크기의 광물들이 응집체를 형성하고 있는 것으로 확인되었으며, 광물 결정상 및 화학성분 분석결과 토벽체는 모래와 풍화토를 혼합하여 제작한 것으로 추정된다. 따라서 직지사 대웅전 포벽화 벽체는 황토와 모래 등을 주로 사용한 것으로 보이며, 이는 조선시대 사찰벽화의 제작기법 양식에서 크게 벗어나지 않는 재료특성을 나타내는 것으로 판단된다. 그러나 벽체층은 세립사 이하 크기의 토양이 많이 사용된 반면, 마감층은 세립사가 적고 모래의 함량이 상대적으로 많아 두 층간의 입도비율에서 큰 차이를 보이는 것이 특징이다. 즉, 직지사 대웅전 포벽화는 벽체층의 밀도는 높고 마감층 밀도는 낮은 차이가 있으며, 이와 같은 특징으로 인해 흡습건조로 인한 충간 내부 응력 발생 및 체적비 변화 등 지속적인 물리적 영향으로 벽체 분리현상이 두드러지게 나타나는 것으로 추정된다.

토벽화의 벽체는 구성 층마다 점밀도와 두께가 다르기 때문에 함수율의 차이가 발생한다. 일반적으로 가장 두꺼운 초벽의 함수율이 높으며 마감층의 함수율은 상대적으로 낮다. 그 중에서 자유함수율의 편차는 각 벽체층간 수축과 팽창계수 차이를 야기하여 충간 균열을 일으킨다. 이러한 현상으로 인해 수분은 더욱 수월하게 유입되며 자유수에 의한 물리적 손상 외에 결합수에 의한 화학적 손상까지 유

**Table 6.** Grain size analysis results of support layer and finishing layer

		over 1.0 (mm)	1.0-500 (mm- $\mu$ m)	500-300 ( $\mu$ m)	300-212 ( $\mu$ m)	212-100 ( $\mu$ m)	100-75 ( $\mu$ m)	75-45 ( $\mu$ m)	45-25 ( $\mu$ m)	through 25( $\mu$ m)	totals
support layer	weight (g)	0.15	0.24	0.33	0.16	0.32	0.05	0.02	0.06	0.27	1.60
	percentage (%)	9.38	15.00	20.63	10.00	20.00	3.13	1.25	3.75	16.88	100
finishing layer	weight (g)	0.02	0.20	0.62	0.41	0.65	0.07	0.06	0.03	0.03	2.10
	percentage (%)	0.95	9.52	30.00	19.52	30.95	3.33	2.86	1.43	1.43	100

발시키며 벽체 충간 박락의 손상으로 나타난다. 마감층에 비해 상대적으로 벽체층에 많이 함유된 점토광물은 토양 내 자유수분과의 충간결합을 통해 흡습 및 방습을 반복하게 되며(Moon, 1996), 벽체 내부에 함유된 충간수의 수화작용은 물리적 변형을 발생시킬 수 있다. 직지사 대웅전 포벽화의 벽체층은 마감층에 비해 상대적으로 미분부 입자크기의 토양을 다량 함유하고 있다. 토벽체는 흡습 및 방습이 반복될 경우 벽체충간 체적비 변화를 가져오며, 장기적으로는 응력 발생으로 인해 균열과 박리 등의 물리적 손상을 유발하게 된다(Cho, 2017).

사찰벽화 벽체층의 분리 및 파손현상은 사용된 재료간의 이질성을 포함하여, 주변 환경, 벽화 구조체의 변형, 건물 하중 및 벽화 주변의 물리적 압력 등 복합적인 요인이 작용하면서 발생된다. 현재 직지사 대웅전 포벽화의 손상상태는 심각한 수준이며, 벽화에서 확인되는 미세균열 등을 미루어볼 때 손상은 지속적으로 발달될 수 있을 것으로 판단된다. 이번 손상조사 및 진단 결과를 통해 직지사 대웅전 포벽화의 보존상태를 면밀하게 평가할 수 있었다. 또한 벽체 재질에 대한 과학적 분석을 실시하여 손상의 원인을 보다 객관적으로 추론할 수 있었다. 마지막으로 본 연구 결과가 향후 직지사 대웅전 포벽화 보존처리에 유용한 정보로 활용되기를 기대한다.

## 사 사

이 논문은 2016학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음.

## REFERENCES

Chae, S.J., Yang, H.J. and Han, K.S., 2006, Nondestructive investigation of clay wall structure containing traditional mural paintings. - The clay walls having mural paintings

housed in the protective building in Muwisa Temple, Kangjin, Jeollanamde Province. Journal of Conservation Science, 18, 51-62. (in Korean with English abstract)

Cho, H.J., 2017, Study on physical change in the earthen finish layer of tomb murals due to drying. MUNHWAJAE, 50(4), 162. (in Korean with English abstract)

Han, K.S., 2003, Restoration and Conservation of the Buddhist Mural Paintings of Korea. Doctor's thesis, University of Herzen State Pedagogical, Sankt-Peterburg.

Han, K.S., 2010, Estimation of damage degree for mural paintings in Maitreya Hall of Geumsan-sa Buddhist temple, Korea. Journal of Conservation Science, 26(3), 293-310. (in Korean with English abstract)

Lee, H.S., 2012, Consideration on current state of restoration of murals in temples in Korea. The Art History Journal, 38, 351-369. (in Korean with English abstract)

Lee, H.S., 2013, An analytical study of material characteristics for the conservation of Korean Buddhist mural paintings. Doctor's thesis, Dongguk University, Seoul. (in Korean with English abstract)

Lee, H.S., 2016, Study on material characterization of earthen wall of Buddhist mural paintings in Joseon Dynasty, 32(1), 75-88. (in Korean with English abstract)

Lee, K.M., 2011, The research on condition of Buddhist mural paintings - focusing on Buddhist Temple in Chungcheong-do region. The Journal of Cultural Heritage, 9, 156-169. (in Korean with English abstract)

Lee, T.J., 2004, (A) Study on the way how to diagnose safety of the mural of the temple in Korea : Centering on diagnosis of safety using the velocity method by ultrasonic waves. Master's thesis, Gyeongju University, Gyeongju. (in Korean with English abstract)

Moon, H.S., 1996, Clay mineralogy. Minumsa, Seoul. (in Korean)